

doi: 10.7690/bgzdh.2022.11.004

# 整数规划在机场跑道超载使用管理中的应用

崔国伟, 郝希阳, 宋瑾瑾, 蔡绪涛

(海军航空大学青岛校区航空装备保障指挥系, 山东 青岛 266041)

**摘要:** 针对机场跑道超载运行的问题, 对超载飞机的运行架次进行规划。对飞机荷载、道面承载能力和飞机运行架次进行分析, 依据超载使用准则构建机场跑道超载使用的整数规划模型并进行案例应用。结果表明: 该规划可解决多种机型在超载运行时的架次管理问题, 保证跑道资源的合理使用。

**关键词:** 整数规划; 架次; 超载; 跑道

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Application of Integer Programming in Airport Runway Overload Management

Cui Guowei, Hao Xiyang, Song Jinjin, Cai Xutao

(Department of Aviation Equipment Support Command, Qingdao Branch,  
Navy Aviation University, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of overload operation of airport runway, the operation sorties of overloaded aircraft are planned. The aircraft load, pavement bearing capacity and aircraft sorties are analyzed, and the integer programming model of airport runway overload use is constructed according to the overload use criterion and applied to a case. The results show that the plan can solve the problem of sortie management of various aircraft types in overload operation and ensure the rational use of runway resources.

**Keywords:** integer programming; sorties; overload; runway

### 0 引言

机场跑道是供飞机起飞和降落滑跑使用的重要设施, 在保障机场安全运行过程中具有重要作用。机场跑道在建设时, 主要针对一种或几种需在机场运行的飞机荷载设计。随着航空行业的不断发展, 飞机的质量和运载量不断增大, 超出了机场道面设计的荷载能力。机场道面超负荷运行, 对机场的安全运行提出了挑战。如果道面荷载过大或者使用次数大幅度增加, 都会影响道面的使用寿命甚至会影响航空安全。如果因为超载而不能完成飞行任务, 则不能充分利用机场跑道造成资源浪费。笔者研究机场道面超载使用管理, 以合理使用跑道和保障航空安全。

### 1 跑道超载影响因素分析

#### 1.1 飞机荷载影响分析

机场跑道道面主要是受到飞机的荷载影响, 飞机作用在道面上的全部荷载是通过飞机起落架的机轮传给道面<sup>[1]</sup>; 因此, 飞机起落架的形式对飞机作用在道面上的荷载起重要作用。

飞机的起落架有单轴和多轴的形式, 飞机的主起落架、机体/腹部起落架、前起落架通过单轴、多轴的形式组合, 会出现很多种飞机使用的起落架形式。相同质量的飞机, 如果起落架形式不相同对道面的荷载也会不同。这就需要通过换算为统一的标准衡量飞机对道面的荷载, 通常采用飞机等级号 ACN 进行衡量。ACN 代表的是飞机对道面的荷载, 其数值为飞机推导单轮质量的 2 倍, 单位是  $t^{[2]}$ 。通常以飞机的最大起飞质量作为飞机的荷载。

#### 1.2 道面承载能力影响分析

机场跑道是承受飞机荷载的载体, 其自身的承载能力是机场跑道安全运行的关键。通常采用道面等级号 PCN, 表征机场道面的承载能力。PCN 代表的是道面对飞机的承载能力, 其数值为飞机道面可以安全承受的飞机推导单轮质量的 2 倍, 单位是  $t^{[1-2]}$ 。

机场道面是否超载使用, 就是通过比较道面承载能力和飞机的荷载, 飞机荷载超过道面承载能力即视为超载。当道面的承载能力严重不足时, 如果飞机运行会加剧道面破损程度, 严重影响道面的使用品质, 缩短道面的使用寿命, 这种超载应当禁止。

收稿日期: 2022-07-09; 修回日期: 2022-08-06

作者简介: 崔国伟(1984—), 男, 山东人, 硕士, 讲师, 从事航空勤务技术与指挥研究。E-mail: 641818369@qq.com。

### 1.3 飞行架次影响分析

当飞机的荷载超过了道面的承载能力或者飞机的使用次数超过了道面允许使用次数，则应限制飞机的飞行架次。对于偶尔不太大的超载对机场跑道道面的损伤是有限的，对机场跑道道面的使用寿命只是有限的损失，对道面的损失只是少量的加剧，这种情况允许超载但应当严格控制超载机型的使用架次。

## 2 机场跑道超载使用模型构建

在一定的使用时间内，为满足机场的飞行任务需求，提高机场跑道的利用率应尽可能多地提高飞机的运行架次。

### 2.1 超载使用准则描述

为保证道面超载使用不会对道面产生过早的损坏，需要对超载的使用作出限制，规定如下：当

ACN/PCN>1.4 时，一般不允许使用；当 ACN/PCN <1.0 时，可以不加限制使用；当 ACN/PCN=1.0 时，每周允许使用 2 500 次；当 ACN/PCN 在 1.0~1.4 之间时，各种飞机每周允许使用次数，换算成当量使用次数，其总和不能超过 2 500 次，其中 ACN/PCN>1.0 的飞机，每周当量使用次数总和不超过 250 次。当量使用次数是指某种飞机使用次数换算为 ACN 等于 PCN 的使用次数。根据等效损伤原则，各种飞机的当量换算次数如表 1 所示。最后根据换算的当量架次和总体超载架次要求安排超载飞机的运行架次。超载使用准则的判断过程如图 1 所示。

表 1 各种飞机当量换算次数

ACN/PCN	换算次数	ACN/PCN	换算次数
1.0	1	>1.2~≤1.3	70
>1.0~≤1.1	4	>1.3~≤1.4	250
>1.1~≤1.2	13		

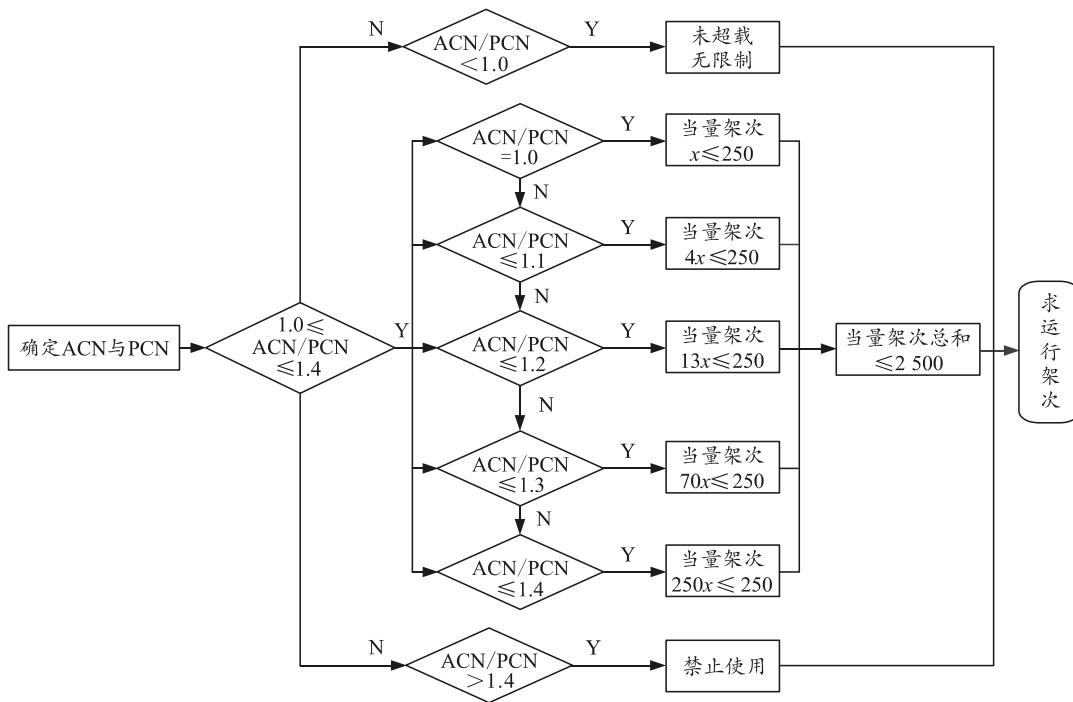


图 1 超载使用准则判断过程

### 2.2 超载使用线性规划模型构建

#### 1) 模型假设。

假设：飞机在机场超载运行的架次为  $x_i$ ；飞机超载架次当量换算次数为  $k_i$ ；飞机运行一个架次的运输效益为  $c_i$ ；每架超载飞机每周运行架次不超过  $n$ ；所有超载飞机每周运行架次总和不超过  $N$ 。

若假设飞机 ACN 与 PCN 的比值小于 1，则无飞行架次限制；

若假设飞机 ACN 与 PCN 的比值大于 1.4，则禁

止飞行。

#### 2) 模型构建。

在跑道超载影响因素分析、超载使用准则和模型假设的基础上，根据整数规划的方法为机场跑道超载使用构建计划模型<sup>[3-10]</sup>。模型的目标函数是求一周内超载运行的飞机在机场运输效益的最大值。约束条件包含当量换算次数、超载飞机的运行架次和总运行架次：

$$\max z = \sum c_i x_i ; \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum k_i x_i \leq N \\ k_i x_i \leq n \\ x_i \leq 0, \text{ 且为整数} \end{cases} \quad (2)$$

式中： $k_i$  的数值根据表 1 确定， $N$ 、 $n$  为给定的常数。

### 3 案例应用

某机场跑道的 PCN=40，计划运行 A、B、C、D、E、F 6 种机型的飞机，其对应的 ACN 分别为 41、46、50、54、58、25，运输效益分别为 10、14、18、20、21、6，单位为 t，该如何合理安排飞行架次使机场运输效益最高。

设 A、B、C、D、E、F 6 种机型的飞机其 ACN 与 PCN 的比值依次为  $g_1, \dots, g_6$ 。则  $g_i = [1.025, 1.150, 1.250, 1.350, 1.450, 0.625]$ 。

$g_5=1.450$ ，根据超载使用规则，说明机型 E 超

过限制使用要求，应当禁止使用。

$g_6=0.625$ ，根据超载使用规则，说明机型 F 没有超载，可以不加限制地使用。

依据超载使用准则，将超载飞机的当量换算架次、总超载运行架次约束、机型超载运行架次约束带入模型，求 4 种超载机型的最优运行架次。

$$\begin{aligned} \max z &= 10x_1 + 14x_2 + 18x_3 + 20x_4; & (3) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} 4x_1 + 13x_2 + 70x_3 + 250x_4 \leq 2500 \\ 4x_1 \leq 250 \\ 13x_2 \leq 250 \\ 70x_3 \leq 250 \\ 250x_4 \leq 250 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, \text{ 且为整数} \end{cases} & (4) \end{aligned}$$

使用 WINQSB 软件求解模型<sup>[11-18]</sup>，飞机超载使用架次计算结果如图 2 所示。

Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1 X1	62.0000	10.0000	620.0000	0	basic
2 X2	19.0000	14.0000	266.0000	0	basic
3 X3	3.0000	18.0000	54.0000	0	basic
4 X4	1.0000	20.0000	20.0000	0	basic
Objective Function		(Max.) =	960.0000		
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1 C1	955.0000	<=	2,500.0000	1,545.0000	0
2 C2	248.0000	<=	250.0000	2.0000	0
3 C3	247.0000	<=	250.0000	3.0000	0
4 C4	210.0000	<=	250.0000	40.0000	0
5 C5	250.0000	<=	250.0000	0	0.0800

图 2 飞机超载使用架次计算结果

计算结果表明， $x_i=[62, 19, 3, 1]$ ，最大运输效益数值为 960。在 4 种机型同时使用的情况下，机型 A 可飞行 62 架次，当量使用架次为 248，运输效益值为 620；机型 B 可飞行 19 架次，当量使用架次为 247，运输效益值为 266；机型 C 可飞行 3 架次，当量使用架次为 210，运输效益值为 54；机型 D 可飞行 1 架次，当量使用架次为 250，运输效益值为 20。每种机型的当量使用架次均没有超过 250 架次，总的当量使用架次为 955 次，没有超过 2 500 架次，均符合使用要求。

### 4 结束语

笔者通过分析超载使用准则，构建了机场跑道超载使用的整数规划模型。通过使用 WINQSB 求解得到了每架飞机的最优运行架次。通过合理地使用整数规划模型<sup>[19-20]</sup>，可求解多种机型飞机的超载运行架次，是一种有效的计算方法。合理的架次安排，既能充分利用跑道，又能保证机场跑道的使用寿命。

### 参考文献：

- [1] 黄仰贤. 路面分析与设计[M]. 余定选, 齐诚, 译. 北京: 人民交通出版社, 1998: 192-193.
- [2] 翁兴中. 道面设计原理[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017: 30-41.
- [3] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 114-131.
- [4] 敖特根. 线性规划的起因和发展[D]. 西安: 西北大学, 2016.
- [5] 周喜华, 贾洪信, 邓胜岳, 等. 一类变量为梯形模糊数的线性规划[J]. 中国计量大学学报, 2016(4): 480-486.
- [6] 谭乐祖, 张铮, 孙仲元. 多型反舰导弹混合攻击异型舰艇编队多目标整数规划火力分配模型[J]. 兵工自动化, 2016, 35(8): 47-49, 70.
- [7] 薛丽红. 一种关联博弈的移动云计算线性规划控制算法[J]. 科技通报, 2015, 31(12): 190-192.
- [8] 何立华, 马芳丽, 张连营. 模糊网络关键路径问题的模糊线性规划方法[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(7): 114-125.